

**INDICE**

**ARTICULOS**

MAXIMO VEGA-CENTENO. Un modelo para la estimación económica de daños ocasionados por un sismo 9

NORBERTO E. GARCIA. Un modelo de política económica de corto plazo, empleo e ingresos: Perú, 1983 33

CARLOS GIESECKE. Los tres principios de la economía de la energía 127

RUBEN M. SUAREZ-BERENGUELA. Comprobación de modelos macroeconómicos: modelos monetaristas de balanza de pagos, Perú 1950-1984 201

**RESEÑAS**

NERIDE SOTOMARINO. Introducción a la economía de la salud de J.G. Cullis y P.A. West; MAXIMO VEGA-CENTENO. *Econometrics and Quantitative Economics* F. Hendry y Kenneth Wallis (Eds.); MAXIMO VEGA-CENTENO. *A Guide to Econometrics* de Peter Kennedy 229

# UN MODELO PARA LA ESTIMACION ECONOMICA DE DAÑOS OCASIONADOS POR UN SISMO

MAXIMO VEGA-CENTENO\*

## 1. INTRODUCCION

En un trabajo anterior, Vega-Centeno y Reményi (1984), analizamos las diversas consecuencias económicas de la ocurrencia de movimientos sísmicos catastróficos. Asumíamos, como debemos hacerlo también en esta oportunidad, que los movimientos sísmicos, consecuencia de la actividad geológica en determinadas zonas de la corteza terrestre, ocurren intermitente e inevitablemente. Lo que varía, y en forma errática, es la frecuencia (el momento en que ocurren es incierto), la violencia (la magnitud) de los movimientos y, naturalmente, la gravedad de las consecuencias económicas que se desencadenan.

Sin embargo, la información acumulada y elaborada por especialistas de las geociencias, así como las conclusiones (provisorias pero bien fundadas) de los estudios realizados, permiten lograr aproximaciones probabilísticas sobre esos aspectos, y ello constituye información importante para la previsión y la mitigación de los efectos de la destrucción.

---

\* Profesor del Departamento de Economía de la Pontificia Universidad Católica del Perú. El presente trabajo es una versión desarrollada de la Nota Metodológica elaborada dentro del marco del Proyecto SISRA en 1984 (Programa para la Mitigación de los Efectos de los Sismos en la Región Andina). Las ideas de base fueron discutidas con nuestra colega M.A. Reményi, en esa ocasión. El Ing. Alberto Giesecke, Director del Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) nos propuso el estudio y nos dio en todo momento apoyo y asesoría para la comprensión de cuestiones importantes que escapan a la competencia y limitaciones de un economista. Para la presente versión hemos recogido alguna información nueva y recibido el aporte de diversas personas. En el aspecto computacional nos han ayudado nuestros colegas Juan Pizarro y Cecilia Garavito.

En efecto, en la medida que se conoce la intensidad y la ubicación de la actividad sísmogénica, se pueden hacer predicciones confiables sobre la ocurrencia de terremotos y de las áreas probablemente afectadas. Si estas predicciones fueran relativamente exactas, o suficientemente precisas; si fueran, además, adecuadamente difundidas; y si fueran, finalmente, bien entendidas por el gobierno y los particulares, deberían inducir decisiones orientadas a:

1. la evacuación de edificaciones o zonas que ofrecen elevado riesgo, dado el estado de conservación o deterioro por el uso, el tiempo (capacidad actual de resistencia) o la naturaleza del suelo, con el fin de evitar pérdidas humanas y de patrimonio;
2. la modificación de los patrones de ocupación del territorio, del diseño y de la construcción de obras (instalaciones, servicios, viviendas, etc.) con el fin de reducir riesgos de destrucción;
3. la reubicación, en tiempo normal, de poblaciones y actividades en zonas de seguridad sísmica;
4. la generación de recursos para las etapas de reconstrucción y rehabilitación y la distribución equitativa (socialización) de los costos.

En definitiva, conjuntamente con una actividad global frente al riesgo, una percepción más precisa del riesgo sísmico debería influir en decisiones que se concreten en estructuras físicas adecuadamente sísmo-resistentes. Anotemos que el segundo componente, la percepción del riesgo sísmico, es incluso ambivalente. Veamos, si la previsión no es confiable (sobre todo si implica efectos graves o es alarmista), y si en cualquier caso (aun siendo sólida) no es conocida o es mal comprendida o interpretada por la población, el resultado puede ser el pánico (o la pasividad) y por lo mismo decisiones precipitadas, poco razonables o inútilmente costosas. La seguridad y la previsión contribuyen a minimizar costos de rehabilitación y a mitigar daños en general, pero no se debe olvidar que ellas mismas implican costos y riesgos.

Ahora bien, ocurrido un sismo de carácter destructor (terremoto), lo evidente es que se produce el deterioro, la desaparición o la inhabilitación, parcial o total, de la estructura física y que esto afecta en diferente forma e intensidad a la vida de los grupos humanos. Hay pérdidas personales y de patrimonio cultural o histórico que son irreparables, y hay también paralización de actividad y desorden o caos social. Todo ello es pues subsecuente a la destrucción total o parcial de infraestructura y equipos necesarios para la vida familiar y social y para el desenvolvimiento de la actividad económica.

Independientemente de los justificados sentimientos frente a las pérdidas sufridas y a la deseable solidaridad de quienes no los han sufrido, existe un justificado consenso a propósito de la urgencia de reponer o reparar lo destruido y de recuperar *condiciones normales* de funcionamiento de la sociedad. En el trabajo antes mencionado hemos discutido la naturaleza y significado de la alteración o perturbación de esas condiciones normales, en el corto y en el largo plazo (sec. 4.); en el presente ensayo desearíamos evaluar la importancia, el orden de magnitud relativo de los daños sufridos y sus implicaciones.

Partimos admitiendo que la evaluación de las pérdidas económicas debería corresponder al valor actual de los activos destruidos o, mejor aun, a su costo de reposición. Si esto es así, se podría asegurar (gestionar) el financiamiento suficiente y oportuno, los materiales y equipos necesarios, como parte de una reconstrucción o rehabilitación eficiente (adecuada y en el más breve plazo posible).

Sin embargo, a propósito de ese financiamiento, debemos anotar algunas peculiaridades. En primer término, *responde a un requerimiento súbito* y difícilmente predecible, reviste un carácter de urgencia que impide o induce a obviar complejas y a veces indispensables evaluaciones. En segundo lugar, por la misma ocurrencia súbita de un sismo, es necesario afrontar los efectos (reparar daños) cuando está en curso un ejercicio económico financiero, es decir, cuando ya se ha decidido la asignación de recursos para el período, naturalmente en relación con la actividad normal. Ese financiamiento, por tanto, *implica una re-asignación de recursos* tanto nacionales como internacionales que, en el marco de una economía pobre (sub-desarrollada), significa paralizar programas en lugares no afectados para responder a las urgencias de las zonas afectadas. Esto, anotemos, distribuye pero también eleva los costos. En tercer lugar, finalmente, los proyectos por implementar y sobre todo los montos, *resultan influidos y aun determinados por las evaluaciones inmediatas*, que, como es conocido, adolecen de serios defectos y tienden a inflar las cifras<sup>1</sup>.

Las evaluaciones inmediatas están dominadas por la impresión de los damnificados (la población afectada) y por los sentimientos de solidaridad de quienes no lo han sido (población del país, del gobierno y del exterior). Por lo mismo, constituyen generalmente apreciaciones rápidas y globales, subjetivas y tomadas en circunstancias anormales. Ahora bien, es preciso reconocer la dificultad y aun la imposibilidad de realizar inventarios o evaluaciones precisas y rigurosas en esa etapa, y si la indicación de las pérdidas ocasionadas por un sismo es útil, se justifica la búsqueda de métodos de estimación eficientes.

Por otra parte, cuando ocurre un movimiento sísmico importante en áreas densamente pobladas, en las que consecuentemente, existe un elevado número de edificaciones (viviendas, locales de uso público o colectivo) e importantes instalaciones o infraestructura; o bien cuando ocurre en áreas en que se encuentran importantes (costosas) instalaciones como centrales de energía, represas u otros, es razonable esperar importantes pérdidas. En realidad la destrucción está en relación directa con la riqueza existente, con los activos fijos habilitados, aunque incluso a propósito de activos poco importantes en términos monetarios (viviendas precarias, por ejemplo) pone en evidencia carencias y necesidades sociales. El resultado es que por una u otra razón,

---

1. Dacy y Kunreuther (1969), con evidencia de los Estados Unidos, señalan que las estimaciones hechas posteriormente por técnicos, muchas veces alcanzan sólo a un tercio de las iniciales (Cap. I).

habitualmente se hace referencia a montos importantes como estimación de pérdidas y/o como costo de la rehabilitación o reconstrucción. Esos elevados montos probablemente sensibilizan y movilizan movimientos de apoyo y colaboración y aceleran (si es que no precipitan) importantes decisiones; pero, como toda información imprecisa y además sesgada, pueden inducir decisiones erróneas y pueden imponer sacrificios o postergaciones injustificadas, sobre todo cuando se trata de reasignación de fondos en el ámbito nacional. Esta es una segunda razón para el intento de mejorar las estimaciones de daños en términos económicos.

En el caso del Perú, se acepta la suma de 25,000 millones de soles como una estimación razonable de las pérdidas a raíz, o como consecuencia del terremoto de Ancash en 1970. Ahora bien, esa cifra representa algo más que el 10% del PBI de ese año y es prácticamente equivalente a la Inversión Bruta Fija del mismo. Asimismo representa el 56% del Presupuesto General de la República, y concierne al 8% de la población del país.

Este es el orden de magnitud de los efectos de un sismo en relación con algunos indicadores macroeconómicos y por ello, como en otras situaciones, define globalmente la importancia y urgencia de las decisiones por adoptar y también las restricciones en medio de las que se debe actuar.

A propósito del mismo terremoto, y con la celeridad que se imponía, el Gobierno tomó una serie de medidas: asignar 1,200 millones de soles de la Inversión Pública a la Reconstrucción y Rehabilitación; condonar los pagos tributarios a los agentes involucrados en la zona afectada (D.L. 18308, 18794 y 18845); y reducir en un 20% todos los pliegos presupuestales (con excepción del Servicio de la Deuda Pública) para crear un nuevo pliego: Reconstrucción y Rehabilitación. En términos absolutos, esto significó asignar 706 millones de soles provenientes de otros pliegos. Por último, se debe mencionar la concertación de préstamos y la recepción de donaciones con destino a la zona afectada, en montos que representan el 51% de las inversiones realizadas entre 1970 y 1975.

Algo similar ha ocurrido a propósito de otros desastres, por ejemplo en 1983 a raíz de los efectos del "fenómeno del Niño", es decir exceso de lluvias e inundaciones en el norte del país y simultáneamente una prolongada sequía en el sur, caso en que además de medidas similares a las anteriores, se emitieron bonos de adquisición obligatoria durante un año por los asalariados del país (Bonos de Reconstrucción) y por un monto equivalente al 10% de sus salarios. Esto significa, análogamente a la reducción de los pliegos presupuestales, extraer fondos disponibles por los asalariados de todo el país, para aplicarlos a una zona; o en otras palabras, restringir la demanda en el conjunto del país (con probables consecuencias sobre el nivel de actividad y las inversiones) para resolver urgentes necesidades de una parte del mismo.

Evidentemente, no se trata de discutir la legitimidad de este tipo de reasignaciones, ni la alteración de prioridades que se impone, una vez ocurrido un desastre, sino de asegurar que las decisiones se ajusten a lo necesario, te-

niendo en cuenta que hay, y a veces muy importantes, costos de oportunidad.

La estructura del Gasto Nacional se altera y su monto global se modifica (incrementa) al mismo tiempo que los ingresos fiscales y el ingreso de los particulares también se alteran. En este caso, con una tendencia a la reducción de los montos, afrontar gastos importantes que no fueron previstos implica pues traslado de fondos que tenían otro destino y, simultánea o alternativamente, generar ingresos suplementarios por endeudamiento interno o externo importante, con consecuencias poco predecibles a más largo plazo.

Una estimación razonablemente sólida de los daños ocasionados por un terremoto es útil en la medida que permita situar correctamente los órdenes de magnitud y jerarquizar las urgencias. Para eso debería ofrecer posibilidades de desagregación suficiente.

Finalmente, sería deseable realizar, en cualquier momento, una estimación del daño probable de un sismo, dado el estado de conservación (la vulnerabilidad) de la infraestructura existente y así preveer o minimizar daños personales y materiales y reducir costos. Este es el efecto de oportunas evacuaciones, demoliciones o reemplazos de estructuras y equipos.

Asumiendo estos problemas y necesidades, en lo que sigue del presente trabajo discutiremos brevemente las definiciones básicas y la experiencia acumulada en la estimación de daños (sección 2). En la sección 3 desarrollamos un modelo de estimación que incorpora información sismológica y económica para el cálculo de daños, una vez ocurrido un sismo, y para el cálculo del daño esperado, si ocurriera un sismo. En la sección 4, señalamos los requerimientos en materia de información y, a título indicativo, presentamos los resultados de nuestras estimaciones, con información provisional. Nuestras conclusiones se presentan en la sección 5.

## 2. *DAÑOS Y ESTIMACION DE DAÑOS: LA EXPERIENCIA PREVIA*

El objetivo que nos proponemos es pues el de discutir la consistencia y la posibilidad de aplicación de una metodología para la estimación económica de los daños producidos por un terremoto, así como precisar la utilidad de los resultados que se pueda obtener.

La noción más común de daño está referida a la forma cómo quedan afectadas las estructuras físicas luego de un movimiento sísmico<sup>2</sup>; y, por lo mismo, define los requerimientos de reparación, demolición o reemplazo. De aquí pues su utilidad específica y la necesidad de una información correcta y oportuna respecto a los costos implicados.

---

2. Se trata de daños directos o estructurales (Primarios) y por lo mismo, excluyen lo que pueden ser los daños sociales, personales, y aun los que afectan al mobiliario, equipo y enseres; así como los efectos de paralización o ruptura económica.

Una forma de evaluar es hacer un inventario, eventualmente exhaustivo, de lo ocurrido con las diferentes estructuras. Este tipo de aproximación puede ofrecer, en términos descriptivos y apreciativos, una información (enumeración) de lo ocurrido y de lo que es necesario reparar o rehacer aunque sin precisar los motivos implicados. Debemos anotar que este esfuerzo es poco practicable en forma rápida e inmediatamente después de ocurrido un sismo, y que no permite intentar generalizaciones ni hacer predicciones.

La noción de daño, por otra parte, está estrechamente asociada con la de pérdidas económicas y, en un sentido restringido, con las estimaciones en términos de valor que corresponden a los daños físicos. Consecuentemente, otra forma de evaluación es la de calcular el *valor de los daños*, lo cual permitiría establecer órdenes de magnitud globales (agregación simple) y, además, hacer posibles algunos tipos de predicción o de cálculo rápido de las consecuencias ocasionadas por un sismo o de las consecuencias de futuros sismos. Ahora bien, para estas estimaciones es necesario explicar los daños observados mediante la consideración de las sollicitaciones del movimiento sísmico y la capacidad de respuesta de las edificaciones (daño físico); y, solamente después, proceder a relacionar esos resultados con evaluaciones económicas, previamente existentes, u obtenidas paralelamente.

Como antecedentes teóricos y empíricos de elaboración de modelos para estimar daños y/o pérdidas, debemos señalar sobre todo trabajos de ingenieros. Por un lado, la evidencia de deterioro o de destrucción de obras de ingeniería, una vez producido un sismo, y la necesidad de disponer de elementos de diseño y de construcción que minimicen los riesgos, pueden ser una explicación. Por otro lado, lo son también la mayor proximidad de los ingenieros con las categorías y los resultados de las ciencias que directamente estudian los movimientos sísmicos.

En todo caso, esa es la evidencia que nos ofrecen en una muy útil reseña, A.C. Boissonade y H.C. Shah (1982). Los autores presentan un resumen clasificado del contenido y alcances de los métodos de estimación de pérdidas ocasionadas por terremotos. En la reseña se incluyen métodos elaborados y experimentados hasta 1982, y muestran que la preocupación dominante, y legítima, es ingenieril. El examen de la abundante bibliografía referida y los medios de publicidad a través de los cuales se han difundido los diversos trabajos, nos releva de mayor comentario.

La totalidad de los trabajos analizados se refiere a la *capacidad de respuesta elástica* de las edificaciones frente a una *demanda de ductilidad* a las estructuras (edificaciones), planteada por un sacudimiento del suelo. En estas condiciones, si la segunda supera a la primera habrá daño, es decir, deterioro o destrucción. Se establece entonces un factor de ductilidad de las estructuras o *razón de daño físico*. Este último resulta finalmente explicando el daño en términos económicos, pérdida o *razón de pérdidas* que en general se define.

$$RP = \frac{\text{Costo de Reparación}}{\text{Costo de Reemplazo}} = f(RDF)$$

donde RP y RDF son las razones de pérdidas (daño económico) y de daño físico, respectivamente.

Existen diversas formas de definir y calcular los indicadores, y la RDF puede resultar de la estimación de una función o de un sistema que involucre información compleja sobre el movimiento sísmico (demanda de ductilidad) y sobre la construcción, (características estructurales) y el suelo (capacidad de resistencia); o bien sintetizarse en Intensidad de un indicador global (RP) vendría a ser un promedio ponderado (según la importancia de las zonas).

Anotemos que en la recolección y tratamiento de la información se sugiere o se requiere, en varios modelos, recurrir al "juicio de expertos" —es decir, ingenieros— para identificar y calificar los daños. Esto confirma el carácter de la información requerida y sugiere el empleo de técnicas bayesianas en el análisis estadístico subsecuente.

Una vez calculadas las razones de pérdidas (RP) o las funciones de pérdidas, se las utiliza como ponderaciones de algún indicador del valor de las construcciones (costo de habilitación, valor actual, valor de reposición) y se obtiene una estimación de la *pérdida total*. En este último paso, se incorporan costos o valores totales o unitarios dados exógenamente (o arbitrariamente) y en ningún caso se ofrece alguna explicación.

Es eso lo que apreciamos en uno de los modelos más utilizados, el de F. Sauter y H.C. Shah (1978) que, como otros, busca además construir un instrumento de predicción. Para este último se toma en cuenta la probabilidad de ocurrencia de un sismo de intensidad dada junto con otros indicadores económicos y geofísicos. Ellos especifican:

$$RD_j = f(IMM) \quad (1)$$

$$DE_j = \sum_{i=I_0}^I Pr(IMM=i) \cdot RD_j \cdot S \quad (2)$$

$$PP = \sum_{j=1}^J B_j \cdot DE_j \cdot C_j \quad (3)$$

que es un sistema recursivo donde:

$RD_j =$  Razón de daño en una construcción de tipo j

IMM = Intensidad del sismo en escala de Mercalli Modificada

DE<sub>j</sub> = Daño esperado en una construcción de tipo j

S = Factor de influencia del suelo

PP = Pérdidas Probables

B<sub>j</sub> = Número de construcciones (unidades) de tipo j

C<sub>j</sub> = Costo o razón de costo equivalente (costo unitario de construcción tipo j con respecto al costo unitario de construcción sismoresistente).

Es pues evidente que en las ecuaciones o pasos (1) y (2) se operan cálculos en base a observaciones o a estimaciones cuyos argumentos son conocidos; pero, en la tercera etapa del cálculo se incorpora un elemento de costo que requeriría una definición precisa y una estimación rigurosa para ser congruente con la precisión que sugieren los cálculos anteriores. La mayor parte de veces, al parecer, se suponen razones de costo o se utilizan estimaciones muy gruesas.

El valor y utilidad de este tipo de modelos es, a nuestro juicio, muy grande hasta la estimación del daño esperado (en términos físicos) y es apenas indicativo cuando intenta estimar pérdidas en valores monetarios absolutos.

El trabajo mucho más elaborado de J. Grases (1984) sigue los mismos lineamientos. Esto es, parte de examinar el impacto o la sollicitación sísmica y la respuesta estructural de las construcciones. El modelo es novedoso y susceptible de aplicación empírica aunque limitada a edificios en altura; e igualmente, incorpora información económica exógena.

Por lo demás, debemos señalar que entre los trabajos reseñados por Boissonade y Shah, sólo en un caso, el de R.V. Whitman y sus asociados, se reconoce que "hacen un intento de evaluar los daños en el contenido de los edificios, la ruptura en la actividad normal durante y después del evento sísmico, lesiones, vidas perdidas y el impacto sobre la economía"<sup>3</sup>.

### 3. *UN MODELO PARA LA ESTIMACION DE PERDIDAS O DAÑOS ECONOMICOS*

Un trabajo, el único entre los que hemos revisado, que incluye un tratamiento explícito de las variables económicas, es el de E. Kuribayashi y T. Tazaki (1978). El enfoque adoptado por ellos presenta tres aspectos par-

---

3. Ver A.G. Boissonade and H.C. Shah, op. cit., p. 10.

tualmente interesantes para nosotros, a saber: una adecuada integración de la información sismológica en el cálculo de pérdidas; un esfuerzo de aproximación de información económica relevante; y finalmente, un método de estimación con información sobre sismos ya ocurridos que permitiría estimaciones rápidas y confiables del efecto inmediato, en el caso de ocurrencia de futuros sismos. Este último aspecto que no está explícitamente desarrollado por los autores, nos parece de gran utilidad y vamos a tratar de adaptarlo y complementarlo en vista de su empleo con los métodos standard.

Los autores suponen, como es habitual en este tipo de estudios, que la destrucción (pérdidas en la propiedad) es función de las características del sismo, y además que las pérdidas económicas que ello entraña, son función del valor monetario de los activos existentes antes del terremoto. Si el análisis se refiere a un sismo ya ocurrido y a un área afectada, se puede establecer que (con la notación que hemos adoptado anteriormente)

$$RD_k = \gamma_k (10)^{\alpha M} + \beta R_k \quad (1.a) \quad k = 1 \dots k, \text{ tipos de suelos}$$

donde M es la magnitud en escala de Richter, R la distancia epicentral, y las referencias del sub-índice k corresponden a las condiciones del *suelo*;  $\gamma_k$  es una constante que corresponde a cada tipo de suelo.

Esta especificación, a nuestro juicio, puede ser reemplazada por las siguientes:

$$RD_k = \gamma_k (10)^{\alpha M} R_k^\beta \quad (1.b)$$

$$RD_k = \gamma_k e^{\alpha M} R_k^\beta \quad (1.c)$$

que corresponden a las funciones de atenuación habitualmente estimadas y que han dado buenos resultados.

Por otra parte, los activos (construcciones, infraestructura), se distribuyen independientemente (arbitrariamente incluso), en el territorio afectado y su valor podría ser estimado por zonas definidas según diversos criterios y que por lo mismo pueden incluir diferentes tipos de suelo. Si se divide la zona afectada en J zonas, para cada una se tendría:

$$PE_j = w_j \sum_{k=1}^K \delta_{kj} RD_{kj} \quad (2) \quad 0 \leq \delta_{kj} \leq 1; \quad \sum_{k=1}^K \delta_{kj} = 1$$

donde  $PE_j$  es el valor de las pérdidas o pérdidas económicas en la zona  $j$ ;  $\delta_{kj}$ , con las restricciones impuestas, es una ponderación que corresponde a la proporción de área con suelo de tipo  $k$  en la zona  $j$ ; finalmente  $w_j$  es el valor de los activos en la zona. Notemos que tanto las pérdidas  $PE_j$ , como los activos  $w_j$ , tratándose de un sismo pasado, se supone que *deberían* ser conocidos.

Las pérdidas totales debidas a un terremoto resultarían de la totalización de las pérdidas por zona:

$$PE = \sum_{j=1}^J w_j \left\{ \sum_{k=1}^K \delta_{kj} RD_{kj} \right\} \quad (3)$$

Para la estimación de los activos, se toman en cuenta las relaciones entre el volumen de activos y la población, establecidas empíricamente a partir de encuestas sobre la Riqueza Nacional y de la información censal. Diversas evidencias permiten establecer una relación de proporcionalidad entre activos (riqueza) y población. Por consiguiente, la información global en términos *per cápita* permitiría aproximar el valor de activos por zonas, una vez conocida la población.

$$w_j = \frac{W}{P} p_j \quad (4)$$

donde  $W$  es la riqueza nacional,  $P$  la población total y  $p_j$  la población de la zona afectada, es decir la que está establecida al interior de la isosista  $VI^4$ . A propósito de la riqueza nacional, también existen referencias de alguna proporcionalidad con el PBI, los mismos que a falta de información directa (de encuestas específicas), nos pueden permitir alguna aproximación. En todo caso, la ecuación (3) se transforma:

$$PE = \sum_{j=1}^J \frac{w}{P} p_j \left\{ \sum_{k=1}^K \delta_{kj} RD_{kj} \right\} \quad (5)$$

---

4. Los mapas de isosistas son mapas de igual intensidad de un movimiento y la evidencia acumulada permite suponer que al interior de la línea que delimita la intensidad  $VI$  es que se producen daños o destrucción.

La población en cada zona ( $p_j$ ) se puede estimar a partir de la densidad promedio de población en el área afectada es decir relacionando extensión territorial y población.

$$P_j = \frac{PA}{AA} a_j \quad (6)$$

donde PA y AA son la población en el área o zona afectada por el sismo y el área afectada respectivamente y  $a_j$  el área de la zona  $j$ .

Si reemplazamos ahora las ecuaciones (1) y (6) en la ecuación (5), tendremos:

$$PE = \sum_{j=1}^J \frac{W}{P} \frac{PA}{AA} a_j \left\{ \sum_{k=1}^K \delta_{kj} \gamma_k (10)^{\alpha M} + \beta R_{kj} \right\}$$

$$PE = \frac{W}{P} \frac{PA}{AA} \sum_{j=1}^J \left\{ \sum_{k=1}^K \delta_{kj} \gamma_k (10)^{\alpha M} + \beta R_{kj} \right\} a_j$$

ahora, puesto que por definición,  $\sum_{j=1}^J a_j = AA$ , y si reordenamos la expresión obtendremos:

$$PE \frac{P}{W.PA} = \sum_{j=1}^J \left\{ \sum_{k=1}^K \delta_{kj} \gamma_k (10)^{\alpha M} + \beta R_{kj} \right\} \quad (7)$$

Finalmente, si denotamos X a la transformación de variables susceptibles de ser estimadas u observadas, a la izquierda de la igualdad, tendremos una ecuación semi-logarítmica, muy difícil de linealizar para que pueda ser estimada econométricamente. En el trabajo a que nos referimos no se explicita el método de estimación de la variable compuesta (X), pero se indica que a partir de ese resultado se deducen los de  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma_1$  y  $\gamma_2$  que son los parámetros desconocidos.

Por nuestra parte, para la especificación econométrica admitimos inicialmente sólo dos zonas dentro del área afectada por un terremoto de características dadas y, por simplicidad de exposición, dos tipos de suelo. El modelo (7) se puede descomponer en dos ecuaciones *aparentemente no correlacionadas*:

$$X_1 = \Delta_1 (10)^{\alpha M} + \beta R_1 \quad (8.1)$$

$$X_2 = \Delta_2 (10)^{\alpha M} + \beta R_2 \quad (8.2)$$

donde,

$$\Delta_1 = [\delta_1 \gamma_1 + (1 - \delta_1) \gamma_2] \quad (9.1)$$

$$\Delta_2 = [\delta_2 \gamma_1 + (1 - \delta_2) \gamma_2] \quad (9.2)$$

El sistema (8) se puede linealizar por transformación logarítmica y definir la especificación econométrica como sigue:

$$\log X_{1t} = \log \Delta_1 + \alpha M_t + \beta R_{1t} + u_{1t} \quad (10.1)$$

$$\log X_{2t} = \log \Delta_2 + \alpha M_t + \beta R_{2t} + u_{2t} \quad (10.2)$$

Donde el sub-índice t se refiere a cada terremoto (pasado) observado, y  $u_t$  son las perturbaciones. Estas ecuaciones, bajo restricción de que los coeficientes  $\alpha$  y  $\beta$  deben ser iguales en ambas, se puede estimar por Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG), y se puede obtener directamente los estimadores  $\hat{\alpha}$  y  $\hat{\beta}$ .

En cuanto al término independiente, su estimador ( $\log \Delta_j$ ), nos permite resolver el sistema (9), y lógicamente obtener los estimadores  $\hat{\gamma}_1$  y  $\hat{\gamma}_2$  con las mismas propiedades de  $\log \Delta_j$ , es decir ausencia de sesgo y varianza mínima.

El modelo y el método de estimación se apoyan en observación sismológica y económica de sismos históricos, es decir, de eventos ocurridos en diferentes fechas y en diferentes lugares. Es pues plausible esperar inicialmente heteroscedasticidad en la distribución de perturbaciones, lo cual refuerza la necesidad de utilizar el método MCG. Los resultados nos dan información sobre la capacidad destructora de un sismo.

Para una estimación rápida y consistente de los daños y las pérdidas ocasionadas por un terremoto, se pueden utilizar los resultados, mediante el cálculo de los predictores. En efecto, lo que se necesitaría incorporar exógenamente son los nuevos valores de las variables M y  $R_j$  que son conocidos bastante rápidamente, después de ocurrido un sismo, y el parámetro  $\delta$  que corresponde a la situación previa. Consecuentemente, se puede calcular:

$$\hat{X} = \sum_{j=1}^J \left\{ \sum_{k=1}^K \delta_{kj} \hat{\gamma}_k (10)^{\hat{\alpha} M} + \hat{\beta} R_{kj} \right\} \quad (11)$$

que es un predictor consistente de  $X$ ; variable que por su parte sabemos que es:

$$\hat{X} = PE \frac{P}{W \cdot PA}$$

de donde:

$$\hat{PE} = \hat{X} \cdot W \cdot \frac{PA}{P} \quad (12)$$

que es un estimador (predictor) consistente de las pérdidas o del valor de los daños ocasionados por un nuevo terremoto. Esta expresión se podría expresar en otra forma, si interpretamos al producto de  $W$  por la proporción de población en el área afectada  $\frac{PA}{P}$  como el valor de los activos en la zona afectada:

$$\hat{PE} = \hat{X} \cdot WA \quad (13)$$

donde  $WA$  serían los activos de la zona afectada evaluados en moneda, y que es utilizable cuando  $WA$  puede ser conocido directamente, estimado independientemente o aproximado por las relaciones de proporcionalidad con la población y el producto, que hemos señalado.

Este tipo de resultados puede ser útil también para evaluar pérdidas probables (si ocurriera un sismo) y por tanto ofrecer información básica para decidir la reparación o el reemplazo de estructuras deterioradas por el uso o por sismos anteriores. Igualmente, para decidir la oportunidad de evacuar poblaciones y con ello evitar pérdidas humanas.

Para ello, debemos asociar las Pérdidas Económicas ( $\hat{PE}$ ) o la razón de Daño Físico ( $\hat{RD}$ ) estimados, con la probabilidad de ocurrencia de un sismo de las características (Magnitud y Distancia epicentral), que implican esas pérdidas. En efecto,

$$\hat{PE} = E [PE | M, R] \quad (14)$$

$$\hat{RD} = E [RD | M, R] \quad (15)$$

y consecuentemente,

$$P.E.E. = \sum_i Pr. (I_i) \hat{PE} \quad (16)$$

$$DE = \sum_i Pr. (I_i) R\hat{D} \quad (17)$$

donde  $Pr (I_i)$  es la probabilidad de que ocurra un sismo de Intensidad  $i$  y PEE y DE, son las Pérdidas Económicas Esperadas y los Daños Esperados, respectivamente. Recordemos que la Intensidad es una medida de efectos de un sismo y ella misma es función de la Magnitud y la Distancia epicentral.

Estos valores esperados son calculables a partir de tablas de Probabilidad de ocurrencia de sismos de Magnitud o Intensidad dada, como los estimados por nosotros mismos (Vega-Centeno y Reményi, 1984, pág. 144) y de estimaciones de daño como los que se proponen en este mismo trabajo.

La importancia del monto de Pérdidas o de Daños Esperados (que será nulo o positivo) puede ser la base para decidir reparaciones o reemplazo de estructuras y por esa vía, evitar consecuencias indeseables, así como para planificar el mantenimiento, demolición o descarte de estructuras o edificaciones.

#### 4. LA INFORMACION Y LOS PRIMEROS RESULTADOS

La información necesaria, para obtener los resultados que permitan predicciones como las que acabamos de proponer, y referida a diferentes terremotos, es la siguiente:

1. Información sobre las características del sismo.
  - 1.1. Magnitud en escala de Richter
  - 1.2. Distancia Epicentral (coordenadas epicentrales) o Hipocentral (profundidad).
  - 1.3. Intensidad en escala de Mercalli Modificada
  - 1.4. Efectos secundarios
2. Información sobre los suelos y trama urbana
  - 2.1. Tipos de suelos y delimitación de zonas por tipo de suelo.
  - 2.2. Tramas urbanas (patrón y densidad de edificación).
3. Información económica.
  - 3.1. Población total del país.
  - 3.2. Población de la zona afectada (dentro de la isosista VI).
  - 3.3. Riqueza Nacional o Activo Fijo Nacional existente antes del sismo.
  - 3.4. Pérdidas Económicas Primarias ocurridas.
  - 3.5. Pérdidas Humanas y Sociales.

Se puede decir que los datos provenientes de las observaciones sismológicas son accesibles, completos y consistentes; y, en cuanto a los referentes al

suelo (microzonificación), sólo existen para algunas ciudades, de manera que por el momento, se tendría que hacer los cálculos como si el suelo presentara características uniformes en todas las zonas de interés. Igualmente, serían necesarios mapas de Isosistas para delimitar áreas afectadas; información catastral para conocer la población involucrada, y, dentro de aquellas, las diferentes tramas urbanas, es decir la forma de ocupación del territorio, el tipo y estado de las estructuras.

Debemos hacer notar que la información involucrada explícitamente es bastante sumaria, y que en otras condiciones se podría tomar en cuenta otros parámetros y sobre todo los efectos secundarios, allí donde estos son probables. Ese es el caso de aludes, licuefacción de suelos y tsunamis, por ejemplo. No ocurre lo mismo con la información catastral, que es incompleta o poco actualizada.

En cuanto a la información económica, los problemas son más graves, por carencia o por escasa validez de los estimados disponibles.

La población total del país es conocida a través de los Censos Nacionales que se realizan periódicamente. Su relevancia en el caso que nos concierne depende de la cercanía de los censos y de la posibilidad de estimar (interpolarse) cifras para las fechas de interés. La población de las áreas afectadas está sujeta a la misma restricción y además a la correspondencia que puede existir entre esas zonas afectadas y las circunscripciones administrativas que constituyen las unidades censales.

Por otra parte, evaluaciones de Activo Fijo o de Riqueza, no existen y serían necesarios estudios específicos que, reconstruyendo información histórica, pudieran aproximar su valor o por lo menos su orden de magnitud, en el momento de cada terremoto incluido en la muestra. Estas estimaciones deberían tener en cuenta el valor actual de activos en cada fecha y para ello considerar tipo y materiales de construcción, tiempo de vida útil previsto y en servicio, efecto acumulativo de los sismos anteriores y otros elementos causantes de deterioro. Por ello, se debe recurrir aun a estimaciones directas.

Finalmente, no se ha podido hacer, hasta el momento, una evaluación cuidadosa de daños y de su valor económico, a propósito de cada terremoto, de manera que en general sólo se cuenta con cifras globales, no muy confiables y aun sólo para algunos casos. Este es otro rubro en el que sería necesario un estudio previo específico que, con metodología uniforme, pudiera ofrecer estimados comparables del valor de daños ocasionados por diversos sismos.

En el momento actual, la imposibilidad de obtener este tipo de información, o de generarla por esfuerzo individual, nos impide intentar una estimación rigurosa, tal como la que se propone en términos teóricos y con pretensión de tener valor predictivo.

Sin embargo, la utilidad que se reconozca a estimaciones rápidas o expeditivas del valor de los daños o de las pérdidas económicas, podría justificar que se estimulen estudios previos como los que mencionamos.

## CARACTERISTICAS Y EFECTOS DE LOS TERREMOTOS

## INFORMACION BASICA

Fecha y región afectada	Hora local	POSICION				Mag- nitud	Inten- sidad	Sue- los	Efectos Secundarios	Muer- tos
		Lati- tud	Longi- tud	Prof. km.						
21-05-1950 Cuzco	13:38:00	14.00	72.00	09	6.0	VII	--	agrietas deslizamientos	150	
09-12-1950 Ica	21:50:50	14.50	76.50	80	7.0	VII	--	- derrumbes - tsunami mode- rado	4	
12-12-1953 Tumbes	21:31:25	03.60	80.50	30	7.8	VIII	--	eyección de lodo	6	
15-01-1958 Arequipa	14:14:31	16.50	72.00	60	7.3	VII	--	desprendimiento de rocas	28	
26-07-1958 Arequipa	12:37:10	13.30	69.50	620	7.5	--	--	No	5	
07-02-1959 Talara	09:31:51	04.00	81.50	30	7.3	VI	--	No	5	
19-07-1959 Arequipa	10:06:11	15.00	70.50	200	7.0	V	--	--	--	
24-12-1959 Ayacucho	07:50:35	13.50	74.00	15	5.5	VI	--	réplicas	7	
13-01-1960 Arequipa	10:40:24	16.00	73.00	63	7.5	IX	--	--	63	
15-01-1960 Nazca	04:30:19	15.00	75.00	150	7.0	--	--	--	--	
24-09-1963 Ancash	11:30:16	10.60	78.00	75	7.0	--	--	--	--	
17-10-1966 Lima (N)	16:41:57	10.70	78.60	38	7.5	VIII	--	tsunami modera- do	100	
19-06-1968 Moyobamba	03:13:36	05.60	77.20	33	7.0	VII	--	eyección de are- na y agua deslizamientos	15	
31-05-1970 Chimbote	15:23:20	09.20	78.80	48	7.8	IX	DD	licuefacción	10,000	
31-05-1970 Huaraz	15:23:20	09.20	78.80	48	7.8	VIII	DD	avalancha réplicas	60,000	
09-12-1970 Querecotillo	23:34:39	04.00	80.70	15	7.6	VIII	--	--	48	
03-10-1974 Lima	09:21:29	12.30	77.80	27	7.5	VIII	DD	1,317 réplicas	78	

\* El epicentro se ubicó en la frontera Perú-Bolivia

-- : no hay información

DC : dato calculable

\*\*\* Estimaciones provisionales

DAÑOS MATERIALES		Población total del país (miles)	Población dentro de la Isosista VI	Area de la zona afectada	Riqueza Nacional (Valores constant.)***
50%o edificios	1,800**	10,000	53,000*	12*	593,691
muchas viviendas de quincha y adobe	186	10,000	24,000	900	593,691
numerosos daños materiales	1,216	11,000	80,000	5,000	680,701
todos los edificios anteriores a 1940	1,600	12,000	80,000	DC	865,382
--	10	12,000	20	DC	865,382
--	10	12,500	31,000	DC	900,739
Daños en edificios	95	12,500	100,000	DC	900,739
250 viviendas y carreteras	120	12,500	25,000	DC	900,739
viviendas y carreteras	851	13,000	103,000	DC	984,466
grietas en edificaciones	149	13,000	17,000	DC	984,466
destrucción de pueblos	377	14,000	16,000	DC	1'211,063
daños en la ciudad y poblaciones vecinas	1,338	14,700	1'200,000	DC	1'456,784
destrucción de casas antiguas	150	14,800	5,500	DC	1'507,541
destrucción masiva	15,000	15,000	800,000	DC	1'684,662
destrucción masiva	10,000	15,000	400,000	DC	1'684,662
averías en poblaciones	200	15,500	8,000	DC	1'684,662
daños en edificios e infraestructura	1,653	17,000	2'000,000	DC	2'127,153

\*\* Millones de soles a precios de 1970  
 DD: dato disponible

Por eso, a título ilustrativo, presentamos a continuación un cuadro resumen sobre la información necesaria y la que existe. Se puede apreciar que sería posible completar o elaborar alguna información en forma rápida, precisa y poco costosa, aunque esto no es general. Lo es en casos como el de las poblaciones afectadas, previa elaboración de los mapas de isosistas, y aun otros. En esta oportunidad presentamos sólo una aproximación y por ello el redondeo a nivel de miles de personas. La estimación de activos existentes se ha hecho en base a la proporcionalidad observada con la población total y el PBI (en otros países) y tiene sólo un valor referencial. Igualmente, a partir de datos generalmente aceptados sobre algunos terremotos, como el de 1970, y de las descripciones de daños presupuestado por E. Silgado (1973) hemos hecho un primer intento de imputación de Pérdidas Económicas para los 17 terremotos que hemos considerado y que ocurrieron entre 1950 y 1974. Es evidente que en estos rubros, nuestras cifras son sólo burdas aproximaciones y aunque creemos que reflejan el orden de magnitud, debemos señalar y reclamar que la estimación económica de daños ocasionados por terremotos pasados y los de la Riqueza Nacional o los Activos existentes requiere trabajos específicos y muy delicados.

Por lo demás, la información sobre tipos de suelos sólo existe para tres ciudades y la información catastral no nos permite, en lo inmediato, diferenciar zonas o tramas urbanas dentro de las áreas afectadas. Consecuentemente, en un intento que sólo tiene valor exploratorio (ya que corresponde a una investigación en sus etapas iniciales), vamos a reducir el problema al de *zona única con suelo uniforme*.

## CUADRO No. 2

### ESTIMACION DE LOS PARAMETROS POR MINIMOS CUADRADOS ORDINARIOS

Forma	$\hat{\log} \Delta = \hat{\log} \gamma$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	R <sup>2</sup>	F (2, 14)
1.a	-0.53058 (-0.219)	-0.0814 (-0.237)	0.0015 (0.782)	0.041	0.304
1.a*	-1.2215 (-0.219)	-0.1874 (-0.237)	0.0036 (0.782)	0.042	0.009
1.b	-0.8636 (-0.354)	0.0063 (0.017)	-0.0698 (-0.137)	0.002	0.307
1.c*	-1.9885 (-0.354)	0.0145 (0.017)	-0.0698 (-0.137)	0.002	0.099

Las cifras entre paréntesis son los estadísticos t.

\* En logaritmos naturales.

Bajo este supuesto, el conjunto de ecuaciones a estimar se reduce a una y el término  $\Delta$  se hace igual a  $\gamma$ . Es obvio que desaparecen los problemas derivados de la existencia de covarianzas entre ecuaciones, pero subsisten otros, por no esfericidad de las perturbaciones y aparecen nuevos problemas por omisión de variables (suelos y tramos urbanos); además, por supuesto, de aquellos que genera una información sólo provisoria.

Para la estimación hemos considerado las tres alternativas para la ecuación (1), a las que hemos añadido una, similar a (1.a), pero en términos de logaritmos naturales (1.a\*). Los resultados obtenidos por M.C.O. y M.C.P. se presentan en los cuadros subsiguientes.

Aparte del hecho que los niveles de ajuste en la estimación por MCO son bastante pobres, debemos observar que las especificaciones semilogarítmicas para las dos variables (1.a y 1.a\*) arrojan signo negativo para  $\alpha$  y positivo para  $\beta$ , lo cual es contrario a lo que se puede esperar. Lo plausible es que a mayor magnitud, mayores daños o pérdidas; y opuestamente, a mayor distancia del epicentro, menores daños. Las especificaciones 1.b y 1.c, en cambio, sí presentan los signos correctos (esperados), aunque al igual que las otras presentan muy pobres niveles de ajuste y de significación de los coeficientes y del conjunto de la estimación.

Es evidente, sin embargo, que se trata de un caso en que a pesar de los valores de  $t$  y  $F$ , no se pueden aceptar las hipótesis nulas, pues existe evidencia clara y abundante sobre la influencia directa de la magnitud de un movimiento sísmico sobre el grado de destrucción (daños o pérdidas) y de la influencia decreciente (relación inversa) con la distancia del epicentro a la zona de interés. Por ello, no podemos descartar totalmente esos resultados.

Por otra parte, ante la elevada probabilidad de perturbaciones heterocedásticas, hemos utilizado el método de Mínimos Cuadrados Ponderados, tomando como elemento de ponderación el cuadrado de los residuos de la regresión por MCO.

Al igual que en el caso anterior, sólo las especificaciones que incluyen el logaritmo de la distancia permiten obtener los signos correctos. Las pruebas  $t$  son mucho más satisfactorias, ya que los coeficientes son significativos al 950/o, con excepción de dos (distancia en ambos casos) en que lo son al 900/o. Según la prueba  $F$ , con inclusión del intercepto, las estimaciones son significativas al 990/o.

Los resultados son mejores pero aun están lejos de ser lo suficientemente confiables y de tener valor predictivo. Las causas son el hecho de haber utilizado información provisoria —prácticamente se han incluido proxis de valor de activos y de pérdidas económicas— y, por otra parte, el supuesto de zona única con suelo uniforme que hace excluir variables importantes. El ejercicio, en todo caso, muestra la plausibilidad del modelo y nos da una indicación importante sobre las formas funcionales más adecuadas. En efecto, la forma que sugieren Kiribayashi y Tazaki no nos da resultados aceptables y mejor lo

ESTIMACION DE PARAMETROS POR MINIMOS CUADRADOS PONDERADOS

Forma	$\hat{\log} \Delta = \hat{\log} \gamma$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	F (3, 14)
1.a	-1.7373 (-6.506)	0.1061 (2.805)	0.0012 (4.759)	11.93
1.a*	-4.002 (-6.506)	0.2333 (2.805)	0.0027 (4.759)	11.93
1.b	-0.7160 (-4.249)	0.0624 (2.260)	-0.0424** (1.726)	11.78
1.c*	-1.6487 (-4.249)	0.1436 (2.260)	-0.0970** (1.726)	11.78

Las cifras entre paréntesis son los estadísticos t.

\* En logaritmos naturales.

\*\* Significativo al 90%/o

hace la que sugerimos nosotros, en base a los estudios de "atenuación de energía".

Si continuamos el ejercicio, y para ello admitimos el modelo estimado (1.c), tendremos la ecuación de predicción:

$$\hat{X} = \text{antiln} (-1.6487) e^{0.1436M} R^{-0.0970}$$

que para valores dados observados de M y R permite obtener un predictor de X, y definir el intervalo de confianza. Por lo demás, para valores dados sobre la población y los activos, tal como se indica en la ecuación (12) se puede calcular el valor de las Pérdidas Económicas.

Más todavía, admitida la constancia de los parámetros  $\gamma$  ó  $\Delta$ ,  $\alpha$  y  $\beta$ , se pueden hacer estimaciones de daños ex-ante, tal como se sugiere al final de la sección precedente. En efecto, la observación del estado de las estructuras y la forma de su ocupación o empleo, puede dar origen a estimación de daños o de reparaciones si ocurriera un sismo generador de deterioro o colapso. Esta información (alternativa de daño) se puede asociar, a través del modelo estimado, con diversas combinaciones de Magnitud y Distancia epicentral (que se resumen en la Intensidad) y determinar el límite de resistencia de esas estructu-

ras. En otras palabras, saber con algún grado de probabilidad el límite de la Intensidad de movimiento que pueden absorber, sin que se produzcan daños físicos. Como, por otra parte, existen o se pueden construir tablas de probabilidad de ocurrencia de sismos de diferentes intensidades, se pueden calcular los Daños Esperados. Consecuentemente, se podrían formar criterios de prevención o mitigación de los mismos.

## 5. CONCLUSIONES

Un sismo destructor, ocasiona, como hemos visto, cuantiosas pérdidas e introduce (por ello mismo) serias distorsiones, cuyas consecuencias son casi imposibles de evaluar, aunque generalmente superan lo tolerable. La pregunta que surge de inmediato es, evidentemente, ¿Cómo se podría evitar o prevenir una circunstancia parecida?

El estado de conocimiento de las ciencias geofísicas nos indica que no es posible, no es pensable, evitar un movimiento sísmico, pero ofrece la posibilidad de adquirir información aproximada acerca de la verosimilitud de su ocurrencia y de su gravedad y, además, sobre la recurrencia de movimientos en determinadas zonas reconocidas como de actividad sísmica. En base a estos elementos se puede predecir o calcular expeditivamente la magnitud de los daños ocasionados por un sismo de características dadas.

La experiencia de los importantes montos implicados y la urgencia de decisiones que implican reasignación de fondos limitados, justifican toda preocupación porque estas sean razonables y razonadas. Por otra parte, las lagunas de información y el sesgo de las que se generan en ocasión de una catástrofe, perturban seriamente la aspiración antes indicada.

Nuestro intento va en la dirección de generar información que contribuya a definir los órdenes de magnitud reales y los órdenes de prioridad. Para ello nos basamos en el análisis de los efectos de sismos pasados, cuyo origen y forma de propagación, es de esperar, será similar en las diferentes zonas sísmicas consideradas, así como la capacidad de resistencia es también similar si se considera simultáneamente el estado y el tipo de estructuras y violencia del movimiento sísmico.

Otro problema que hemos sugerido afrontar es aquel de que en los daños ocasionados por una catástrofe interviene, ciertamente, el fenómeno natural (inevitable) así como una actitud de la población y de sus dirigentes, plasmada en decisiones (de localización, de reparación o de reemplazo oportuno) sobre las estructuras físicas y su empleo.

Parece razonable esperar que sobre esto último pueda influir una información adecuada, sensata y sistemática. Por eso la conveniencia de estimaciones de daños probables y de la definición de criterios eficientes con respecto a los riesgos geológicos y al estado de las estructuras y adecuado a los recursos que dispone la población.

El modelo que hemos analizado, modificado y complementado ofrece la posibilidad de asociar los parámetros del efecto sísmico ( $\Delta$ ,  $\alpha$  y  $\beta$ ) con datos específicos de sismos y por ello de predecir (en el sentido econométrico) los efectos físicos y económicos. Igualmente, de predecir, en un sentido más amplio, los riesgos en que incurre la población que ocupa estructuras amenazadas (Probabilidad de ocurrencia de un sismo superior a cero), dado un estado de conservación y una capacidad de respuesta elástica de las edificaciones.

Los resultados preliminares obtenidos a la fecha y que hemos reportado, nos han permitido elegir un tipo de especificación y completar el ejercicio de utilización del modelo con indicaciones provisionarias. Por ello reafirmamos la importancia de las investigaciones específicas que son necesarias para afrontar una etapa de estimaciones más sólidas y predicciones aceptables.

Nuestro trabajo constituye una primera etapa, que esperamos continuar, y nuestros resultados, aun con las limitaciones que hemos señalado, muestran que se pueden hacer ciertas previsiones. Con ello se puede evitar o minimizar daños humanos y asegurar un mejor uso de los recursos a través del tiempo.

## BIBLIOGRAFIA

- ALGERMISSEN, S.T., MC GRATH, M.B. y HANSON, S.L. (1978)  
"Development of a Technique for rapid estimation of Earthquake Losses". Open-File Report 78-440 U.S.G.S. Golden (Co).
- BOISSINADE, A. y SHAH, H.C. (1982)  
"Earthquake Damage and Loss Estimation, Review of Available Methods". Paper-The John Blume Earthquake Engineering Center-Stanford Univ., Stanford, California.
- DACY, D. y KUNREUTHER, H. (1969)  
*The Economics of Natural Disasters – Implications for Federal Policy.*  
The Free Press, New York.
- GIESECKE, A. y SILGADO, E. (1981)  
*Terremotos en el Perú.* Ediciones Richchay, Lima.
- GIESECKE, A. (1983)  
"Algunos aspectos de la reacción ante la predicción de un terremoto en el Perú". Revista Geofísica. I.P.G.H., No. 13. México.
- GRASES, J. (1983)  
"Evaluación de Pérdidas, Formulación de la Metodología", CERESIS, Proyecto SISRA-ECOSIS, Caracas.
- KURIBAYASHI, E. y TAZAKI, T. (1978)  
"An Evaluation on the Distribution Characteristics of Property losses caused by Historical Earthquakes". Paper presented of Tenth Joint Meeting U.S. – Japan Panel on Wind and Seismic Effects. UJNR. Washington, D.C., May 23-26.
- SAUTER, F. y SHAH, H.C. (1978)  
"Estudio de Seguro contra Terremoto", Instituto Nacional de Seguros, San José – Costa Rica.
- SILGADO, E. (1973)  
"Historia de los Sismos más notables ocurridos en el Perú. 1513-1970". CERESIS, Lima.
- VEGA-CENTENO, M. y REMENYI, M.A. (1984)  
"Análisis Económico de los Terremotos: Enfoque Metodológico e Implicaciones de Política". *Economía.* Vol. VII, No. 14, pp. 117-171.

